IT-Sicherheit

- Sicherheit vernetzter Systeme -

Kapitel 11: Netzsicherheit - Schicht 3: Network Layer - IPSec

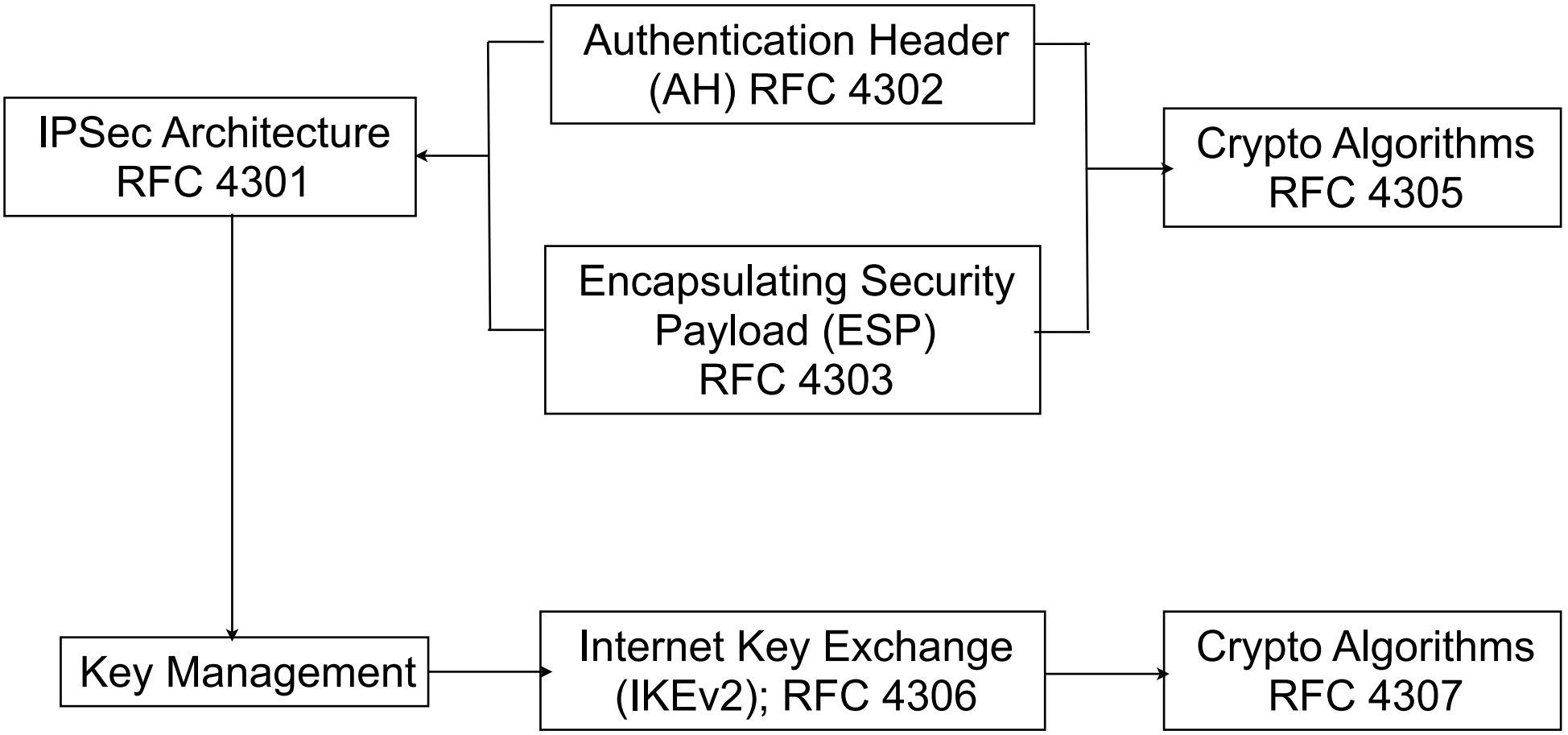
Inhalt

- Schwächen des Internet-Protokolls (IP)
- IPSec: Sicherheitserweiterung des IP-Protokolls
  - Authentication Header (AH)
  - Encapsulating Security Payload (ESP)
  - Anwendungsbeispiele
- Schlüsselverteilung mit IKEv2 (Internet Key Exchange)
  - Aufbau einer IKE SA
  - Authentisierung der Partner
  - Aufbau der IPSec SA
  - Erzeugung von Schlüsselmaterial

IP: Gefahren und Schwächen

- Vertraulichkeit:
  - Mithören relativ einfach möglich
  - Man-in-the-middle-Angriffe
  - Verkehrsfluss-Analyse
- Integrität:
  - Veränderung der Daten
  - Session Hijacking
  - Replay-Angriffe
- Authentisierung:
  - IP Spoofing
- Lösung: IPSec (Sicherheitserweiterungen für IP)
  - Fester Bestandteil von IPv6
  - Als Erweiterungs-Header auch für IPv4 einsetzbar
  - Motivation: Erspart den Aufwand für entsprechende Gegenmaßnahmen in jeder einzelnen Anwendung (d.h. auf höheren Schichten)

IPSec-relevante Spezifikationen



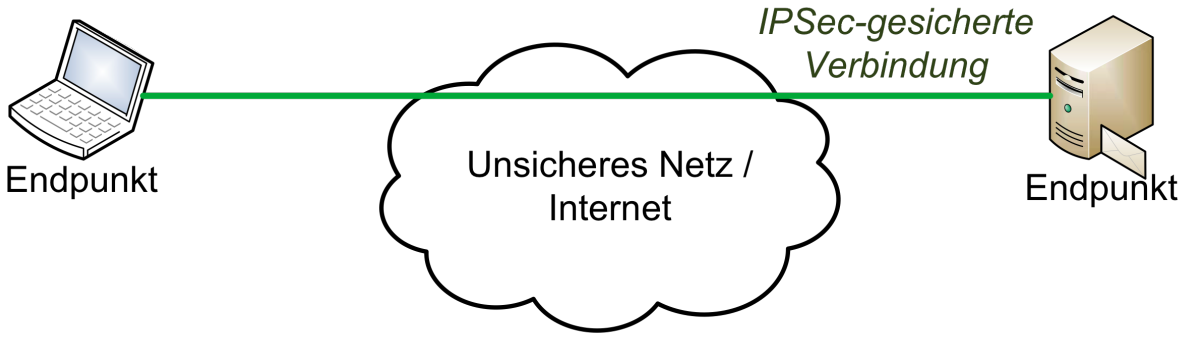
IPSec Überblick

- IP Authentication Header (AH)
  - Integrität des verbindungslosen Verkehrs
  - Authentisierung des Datenursprungs (genauer: des IP-Headers)
  - Optional: Anti-Replay-Dienst
- IP Encapsulating Security Payload (ESP)
  - Vertraulichkeit (eingeschränkt auch für den Verkehrsfluss)
  - Integrität
  - Authentisierung (der sog. Security Association)
  - Anti-Replay Dienst
- Jeweils zwei verschiedene Betriebsmodi:
  - Transport Mode
  - Tunnel Mode

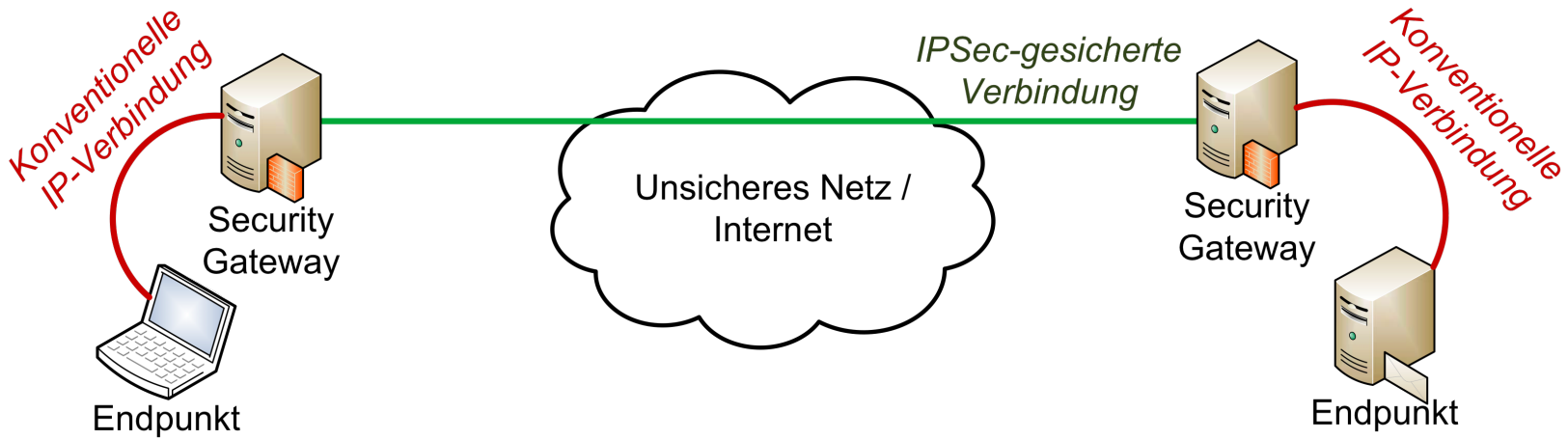
IPSec: Transport Mode / Tunnel Mode

- In beiden Modi können AH und/oder ESP eingesetzt werden

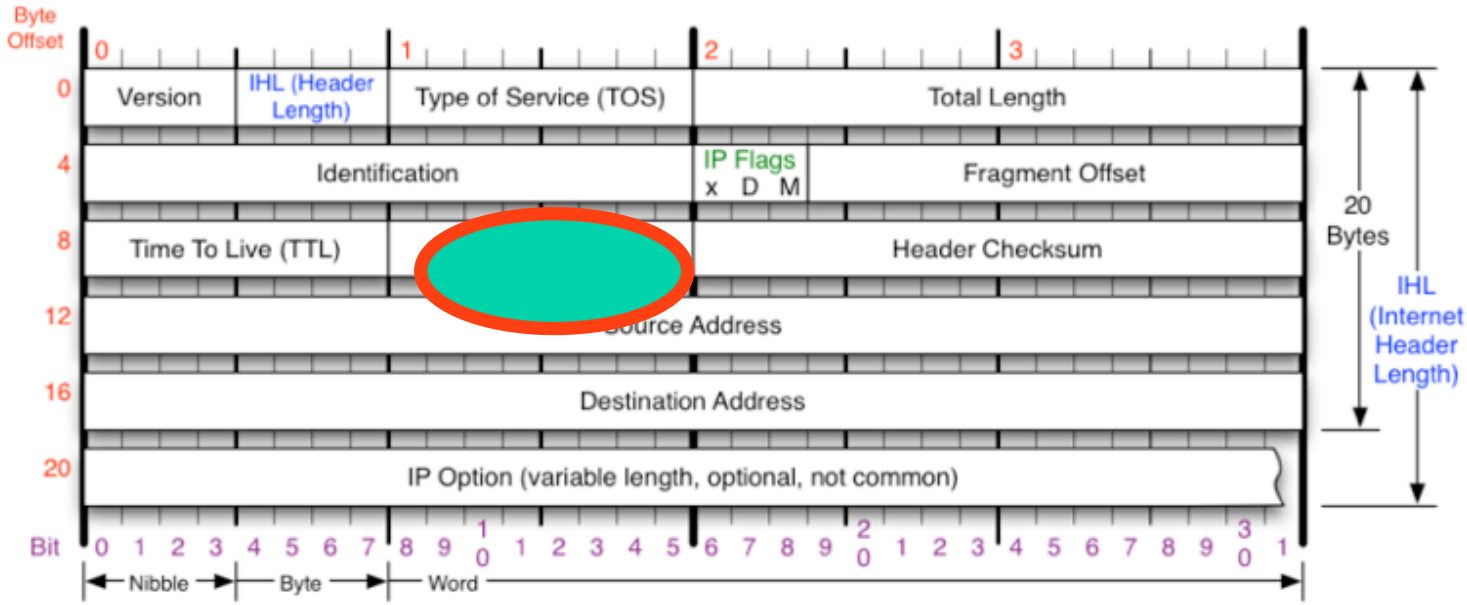
Transport Mode



Tunnel Mode



Einschub: „herkömmlicher“ IPv4-Header



Version

Version of IP Protocol. 4 and 6 are valid. This diagram represents version 4 structure only.

Header Length

Number of 32-bit words in TCP header, minimum value of 5. Multiply by 4 to get byte count.

Protocol

IP Protocol ID. Including (but not limited to):

1 ICMP	17 UDP	57 SKIP
2 IGMP	47 GRE	88 EIGRP
6 TCP	50 ESP	89 OSPF
9 IGRP	51 AH	115 L2TP

Total Length

Total length of IP datagram, or IP fragment if fragmented. Measured in Bytes.

Fragment Offset

Fragment offset from start of IP datagram. Measured in 8 byte (2 words, 64 bits) increments. If IP datagram is fragmented, fragment size (Total Length) must be a multiple of 8 bytes.

Header Checksum

Checksum of entire IP header

IP Flags

x D M

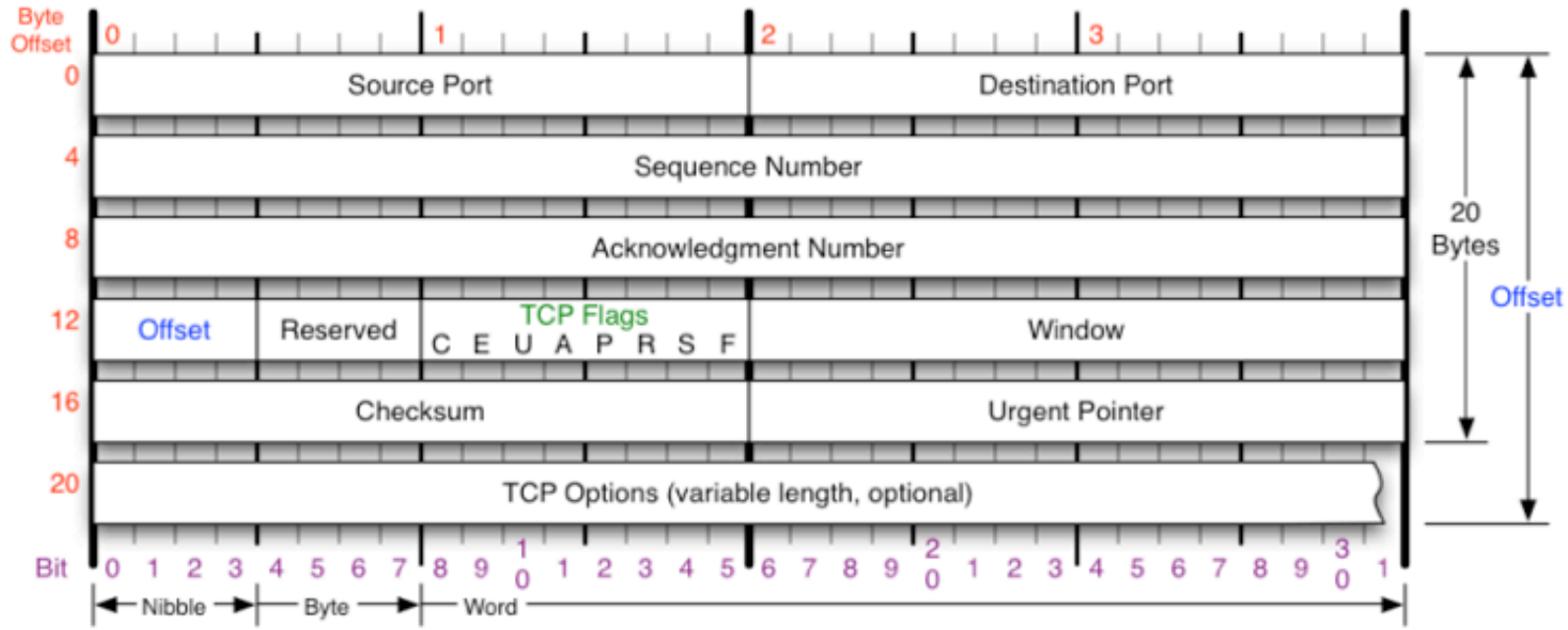
x 0x80 reserved (evil bit)
D 0x40 Do Not Fragment
M 0x20 More Fragments follow

RFC 791

Please refer to RFC 791 for the complete Internet Protocol (IP) Specification.

Bildquelle: nmap.org

Einschub: „herkömmlicher“ TCP-Header



TCP Flags

C E U A P R S F

Congestion Window
C 0x80 Reduced (CWR)
E 0x40 ECN Echo (ECE)
U 0x20 Urgent
A 0x10 Ack
P 0x08 Push
R 0x04 Reset
S 0x02 Syn
F 0x01 Fin

Congestion Notification

ECN (Explicit Congestion Notification). See RFC 3168 for full details, valid states below.

Packet State	DSB	ECN bits
Syn	0 0	1 1
Syn-Ack	0 0	0 1
Ack	0 1	0 0
No Congestion	0 1	0 0
No Congestion	1 0	0 0
Congestion	1 1	0 0
Receiver Response	1 1	0 1
Sender Response	1 1	1 1

TCP Options

0 End of Options List
1 No Operation (NOP, Pad)
2 Maximum segment size
3 Window Scale
4 Selective ACK ok
8 Timestamp

Checksum

Checksum of entire TCP segment and pseudo header (parts of IP header)

Offset

Number of 32-bit words in TCP header, minimum value of 5. Multiply by 4 to get byte count.

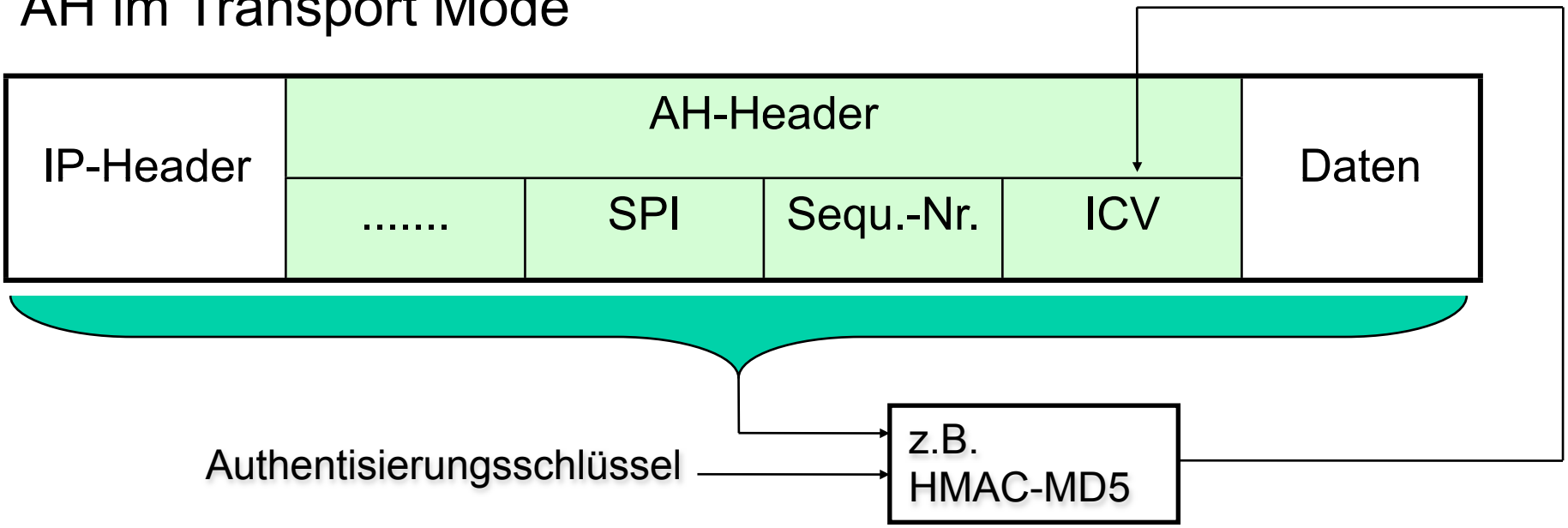
RFC 793

Please refer to RFC 793 for the complete Transmission Control Protocol (TCP) Specification.

Bildquelle: nmap.org

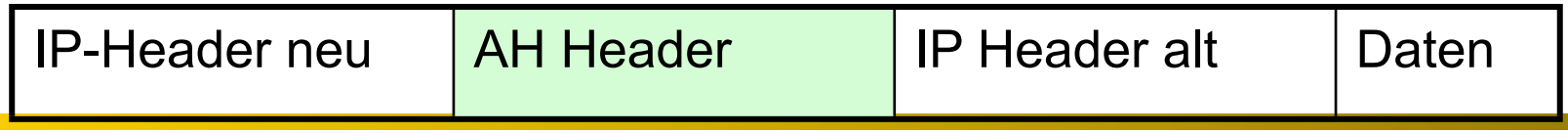
Authentication Header (AH) - Überblick

- AH im Transport Mode

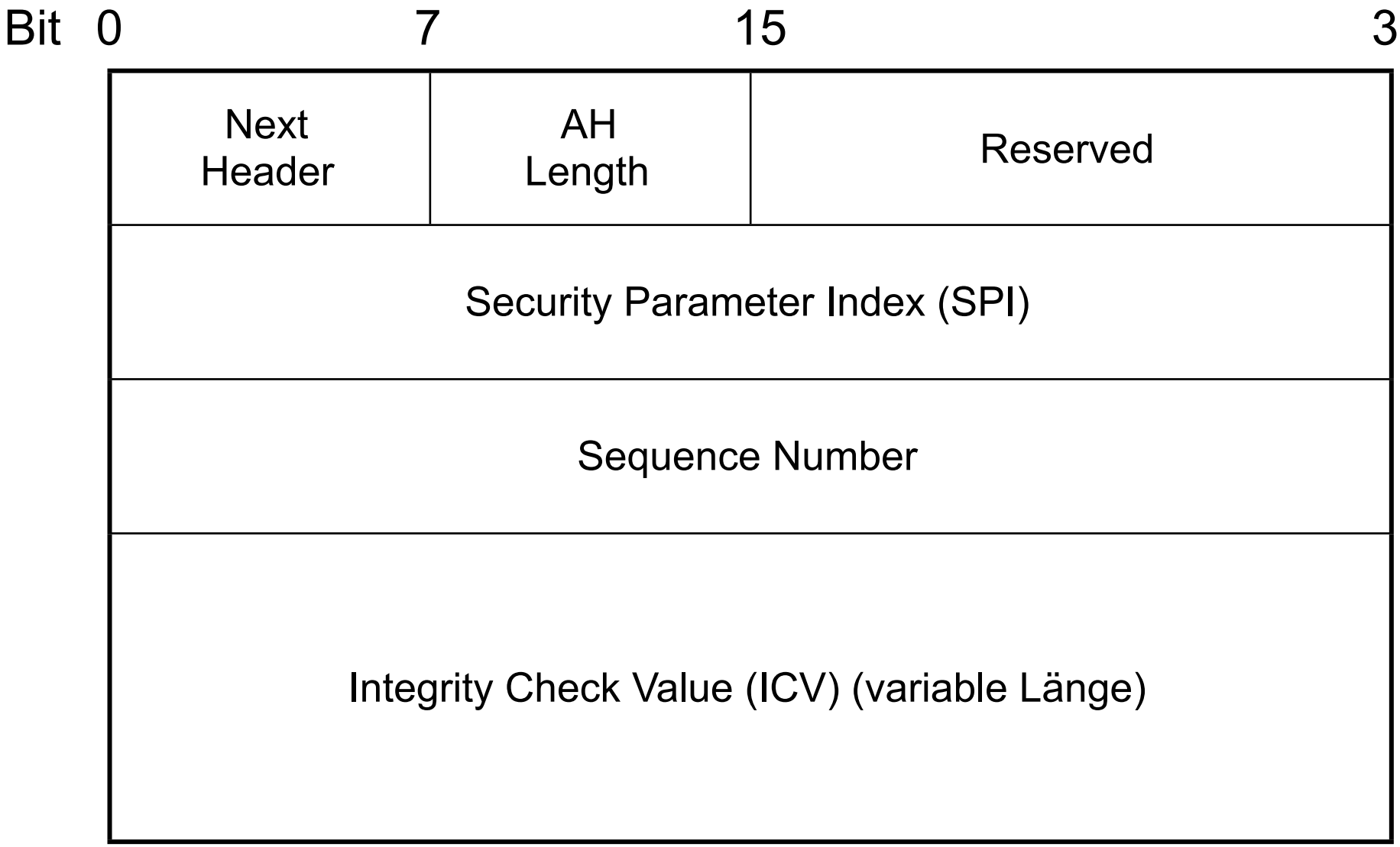


  - Integrität durch MAC
  - Authentisierung durch gemeinsamen Schlüssel
  - Anti-Replay durch gesicherte Sequenznummer

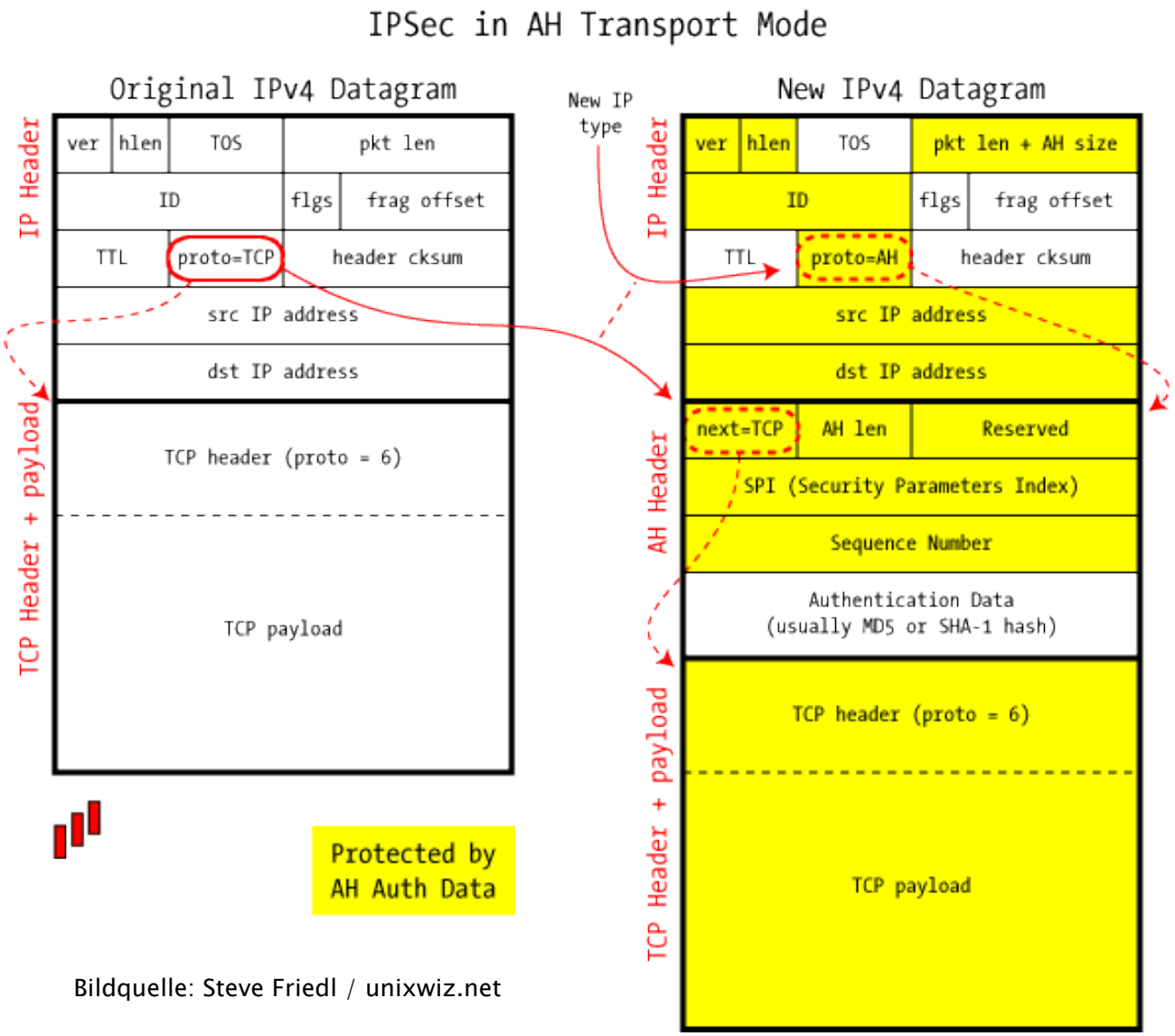
- AH im Tunnel Mode



AH Header im Detail

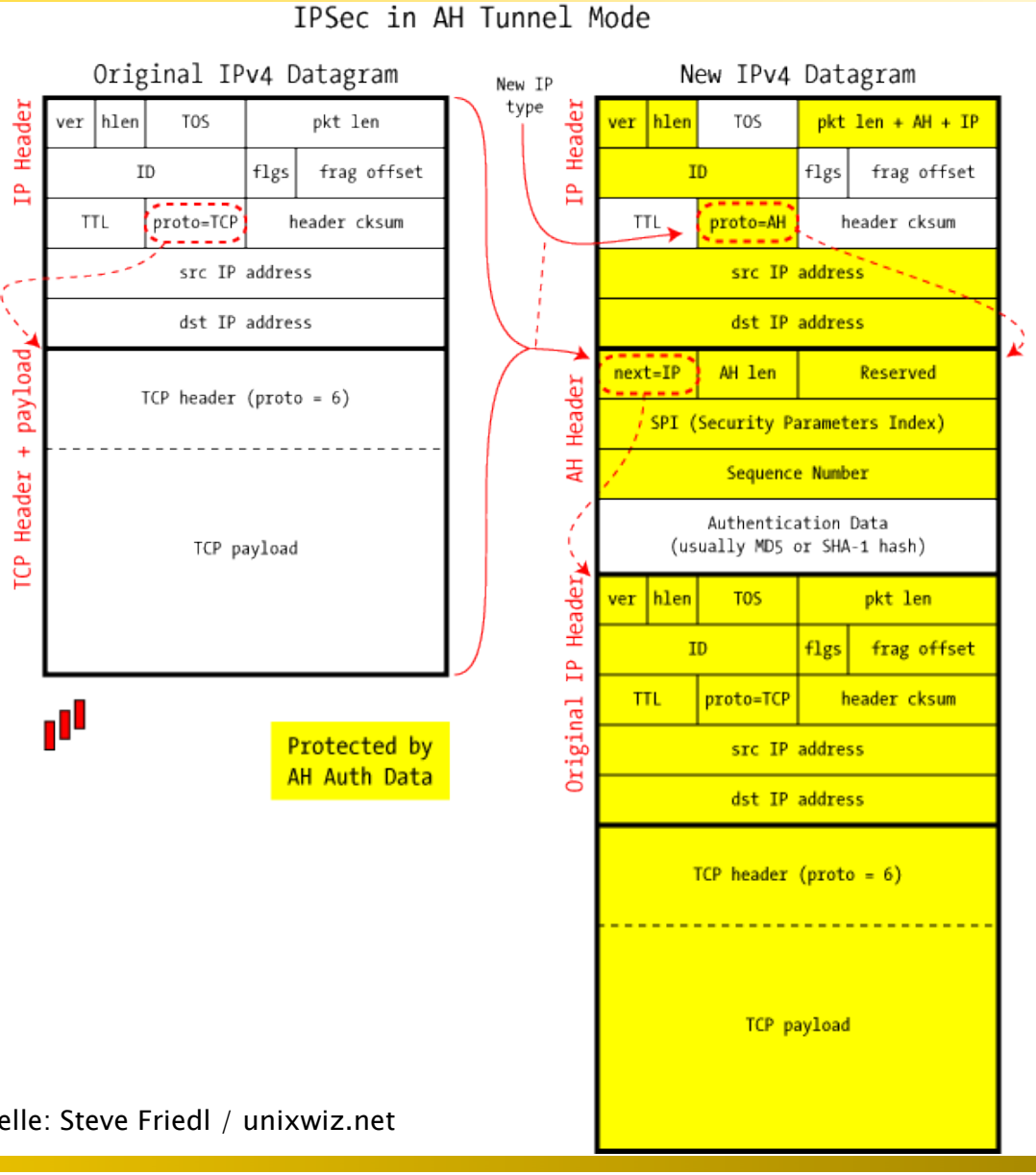


AH Transport Mode - Details



Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

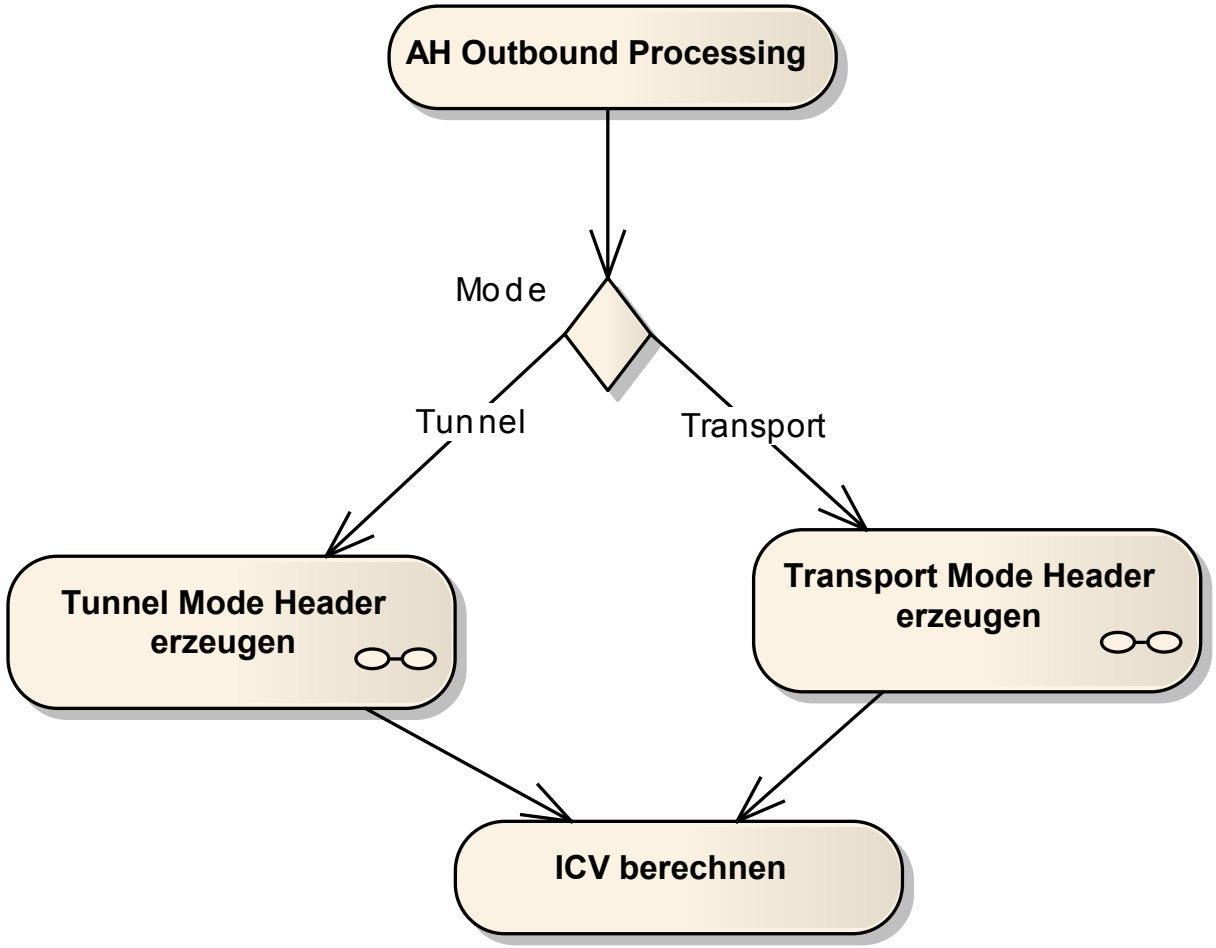
AH Tunnel Mode - Details



Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

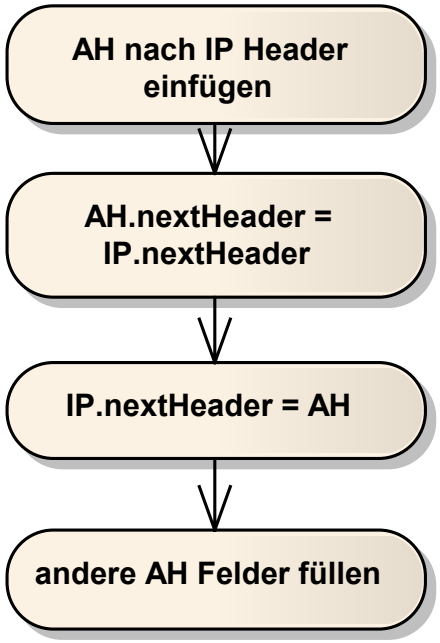
AH Outbound Processing

- IP-Stack im Betriebssystem hat ausgehendes Paket zu verarbeiten:

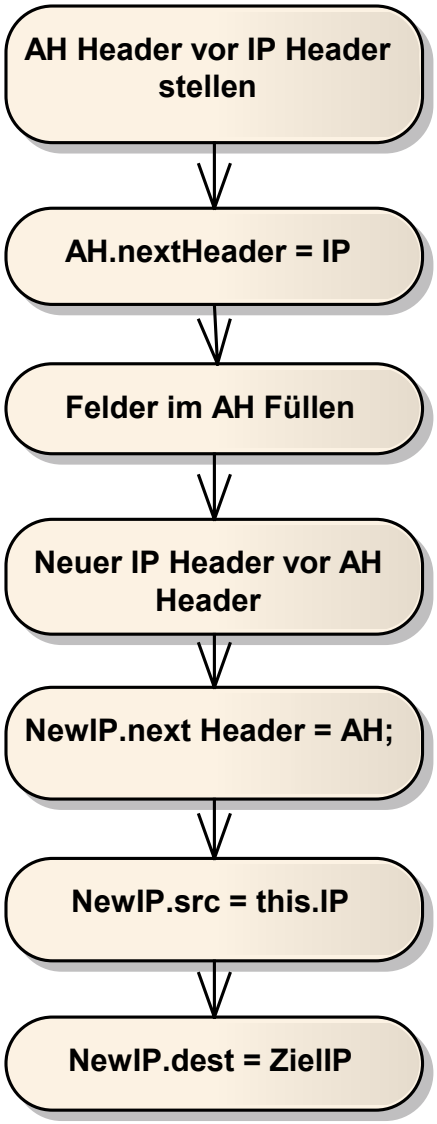


AH Outbound Processing 2

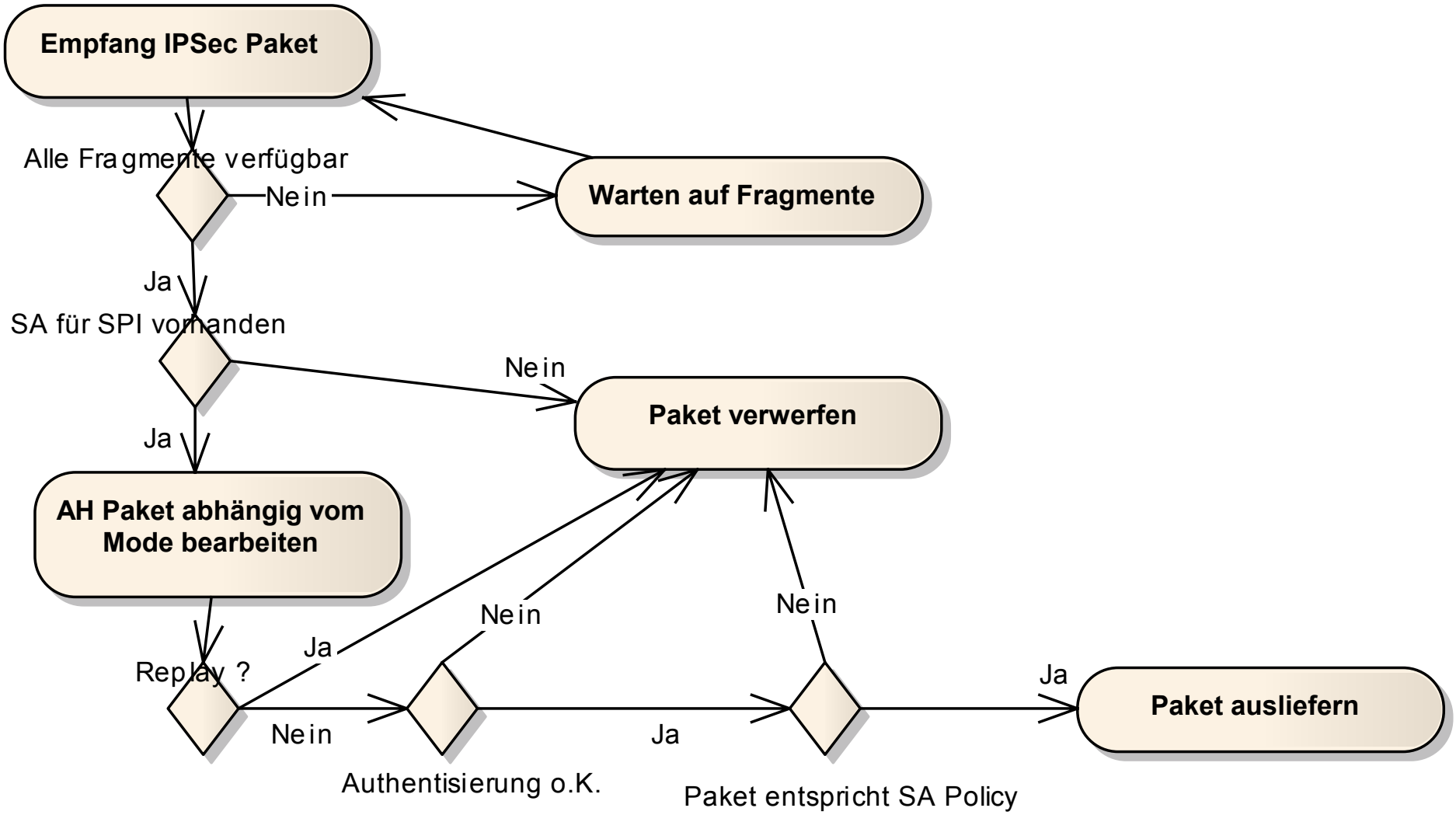
Transport Mode:



Tunnel Mode:

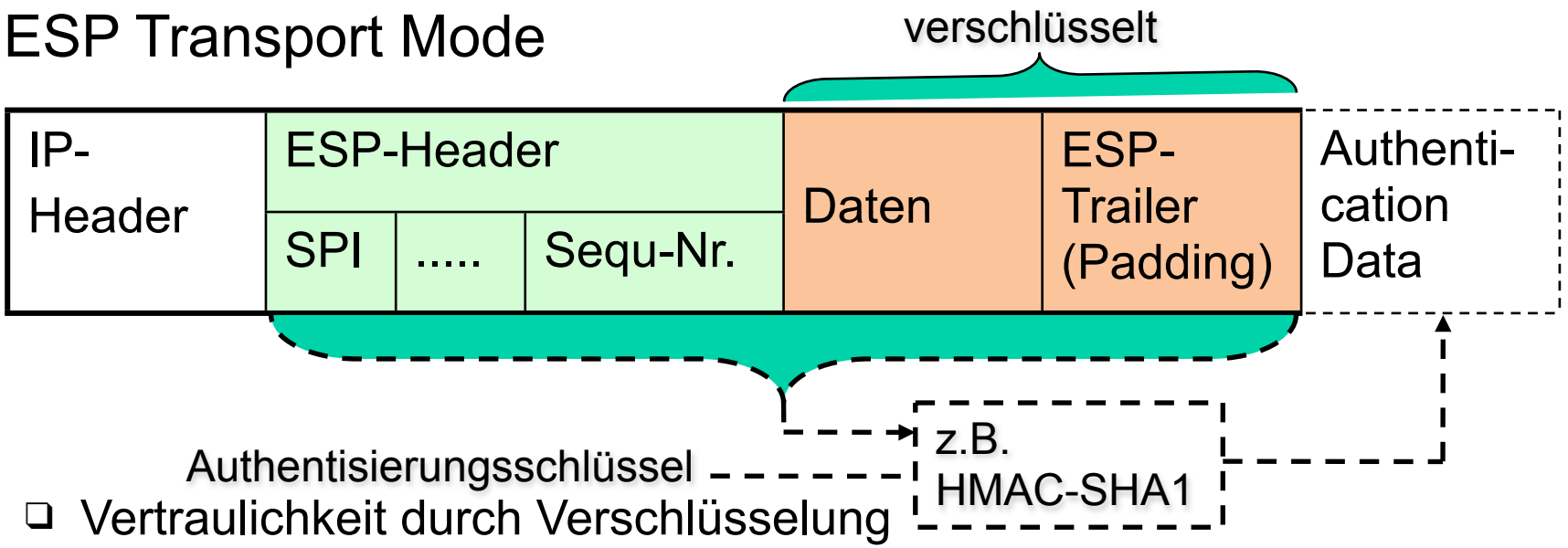


AH Inbound Processing



Encapsulating Security Payload (ESP) - Überblick

- ESP Transport Mode

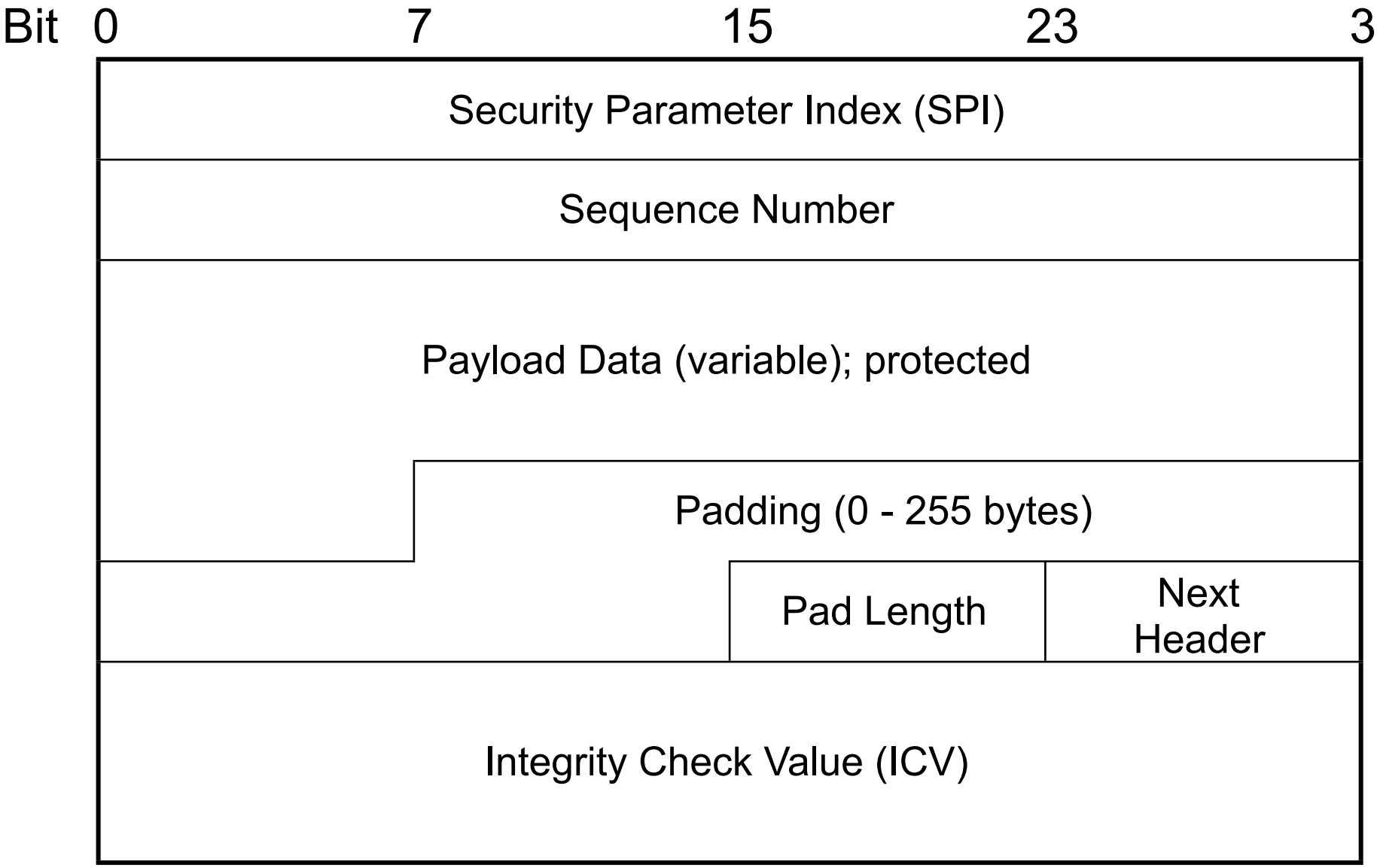


  - Vertraulichkeit durch Verschlüsselung
  - Integrität durch MAC (optional)
  - Authentisierung durch HMAC (optional)
  - Anti-Replay durch gesicherte Sequenznummer (optional)

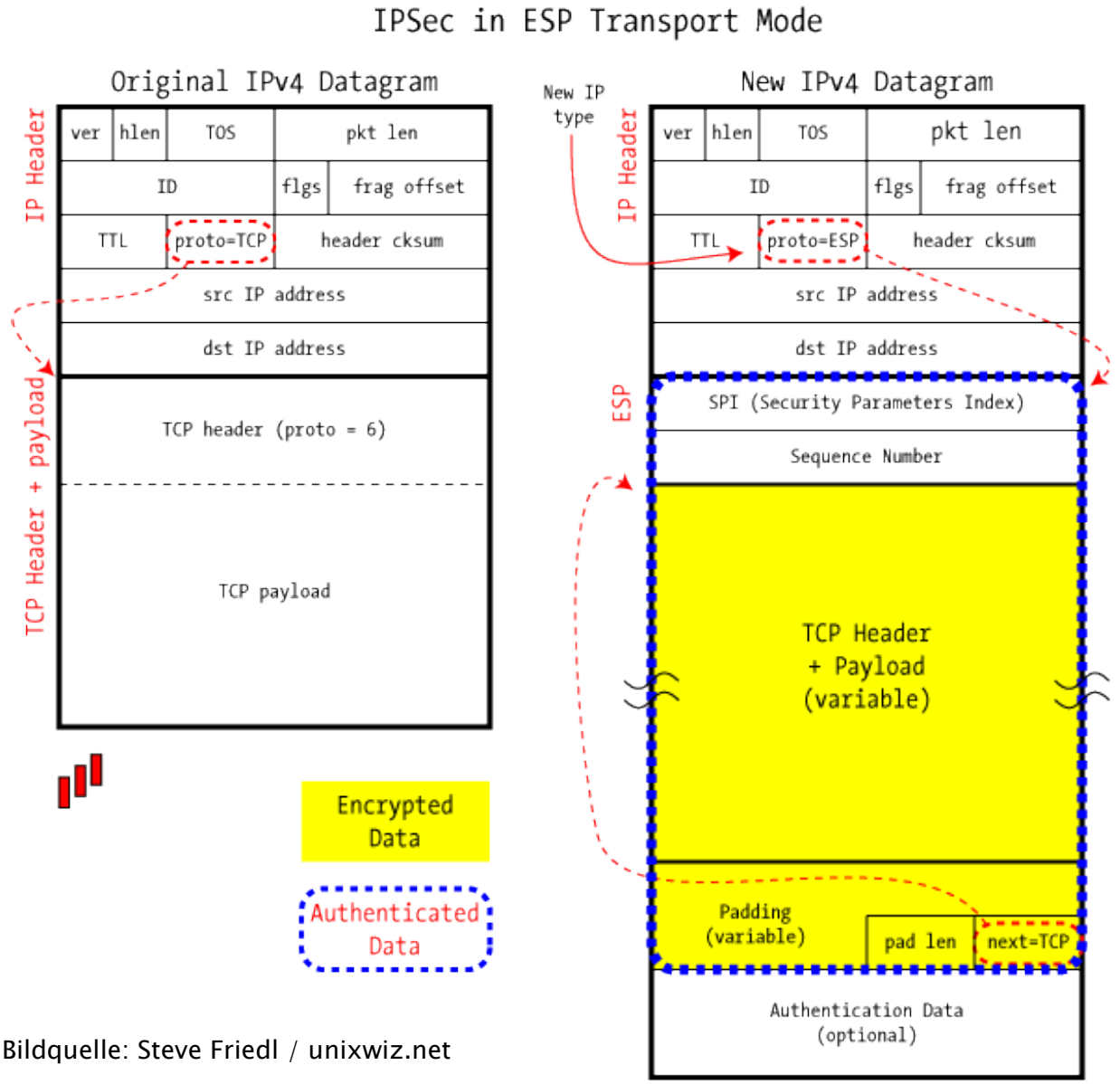
- ESP Tunnel Mode

  - Schutz vor Traffic-Analysen durch verschlüsselten IP-Header „alt“

ESP Header im Detail

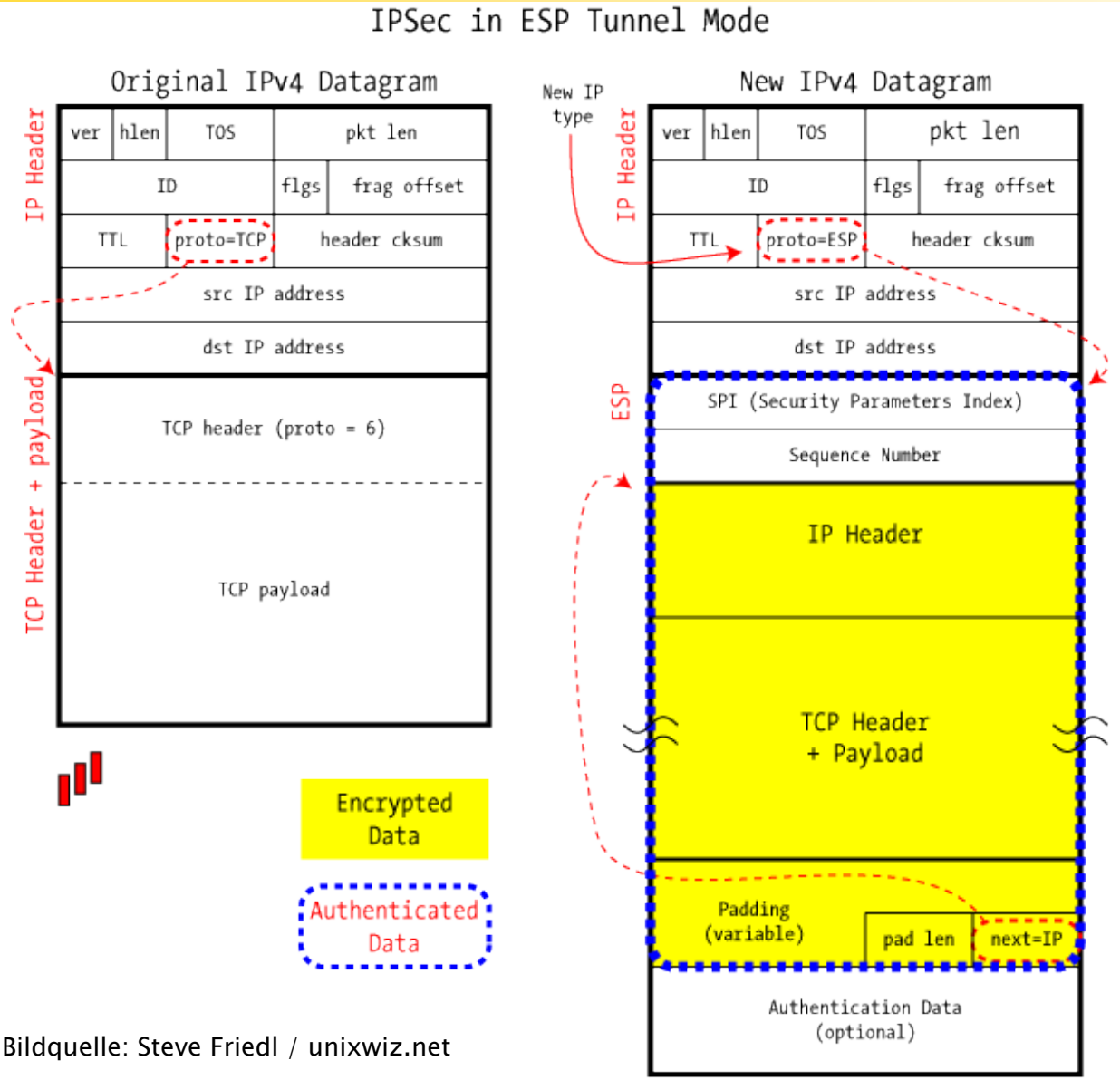


ESP Transport Mode - Details



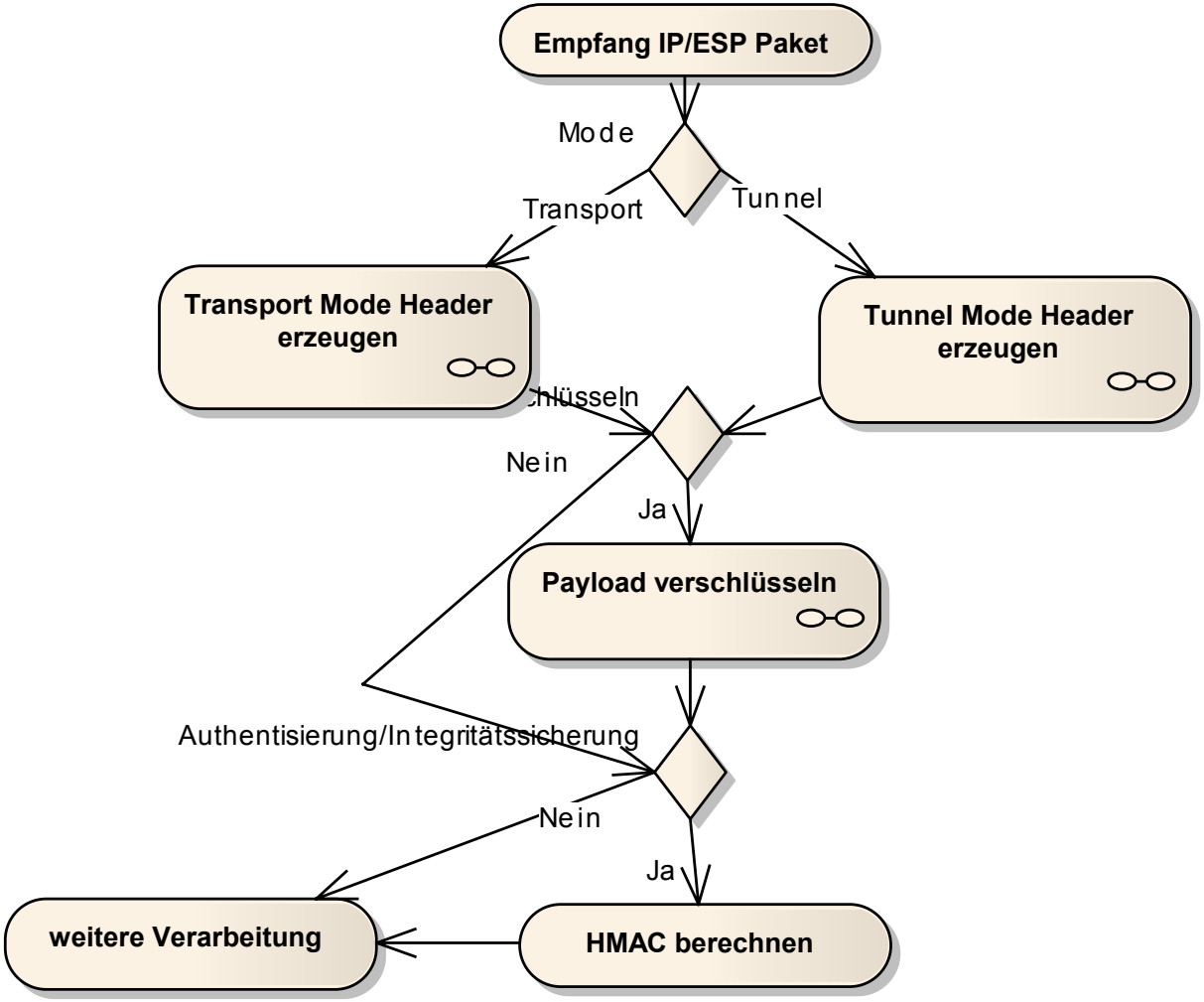
Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

ESP Tunnel Mode - Details

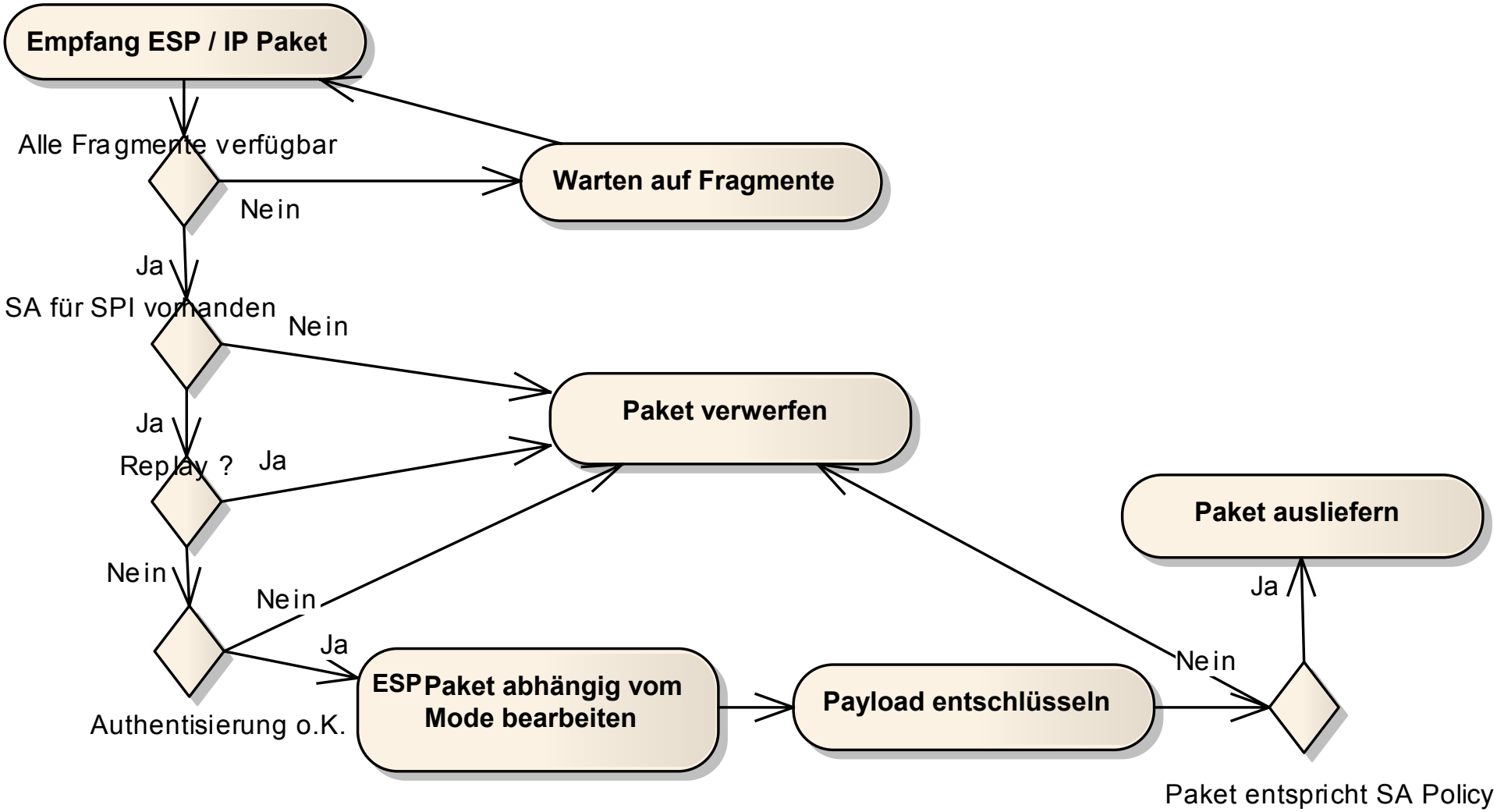


Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

ESP Outbound Processing



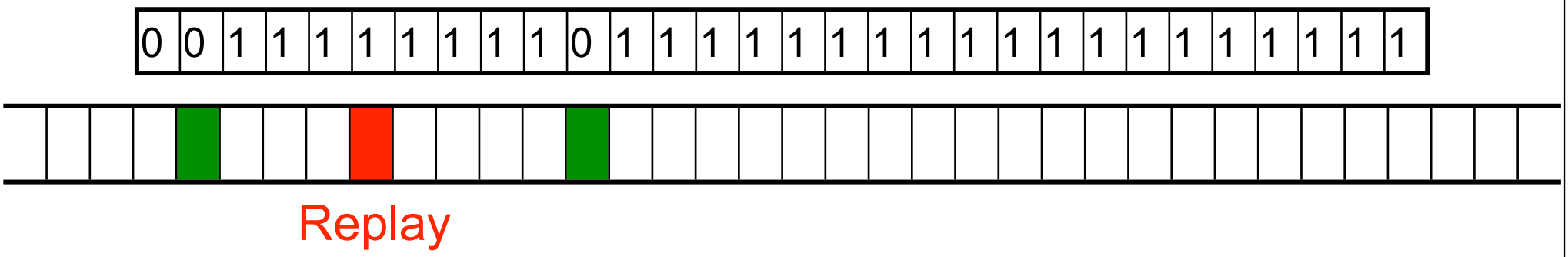
ESP Inbound Processing



IPSec Replay Protection

- Empfänger verwaltet Window für empfangene Pakete
  - Ursprünglich als Mechanismus, um Überfluten des Empfängers zu vermeiden
  - nicht größer als 32 Bit
- Grundprinzip:

Sliding Window empfangener Pakete



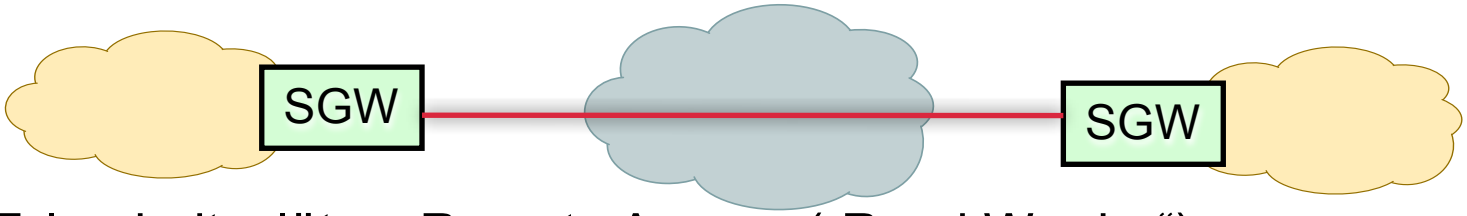
AH, ESP Algorithmen

- RFC 4305 definiert Crypto-Algorithmen
- ESP Encryption
  - AES
  - 3DES
  - DES („should not be used“)
- ESP und AH Authentication
  - HMAC-SHA1-96
  - AES-XCBC-MAC-96
  - HMAC-MD5-96

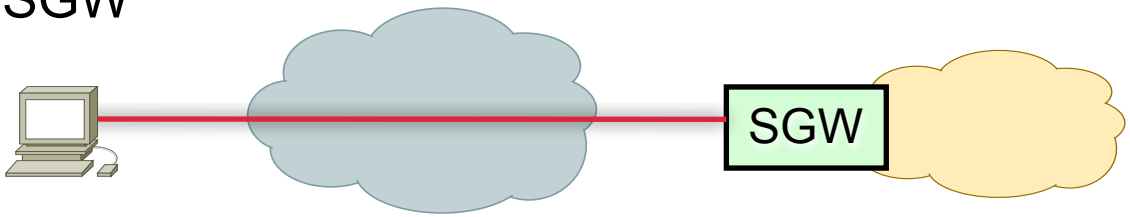
IPSec Anwendungsszenarien

- AH und ESP können kombiniert verwendet werden
- Auch Tunnel und Transport Mode können kombiniert werden

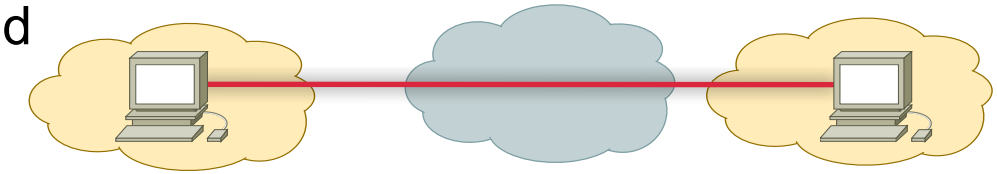
- Mögliche Einsatzszenarien
  - Kopplung von verschiedenen Unternehmensstandorten
    Verbindung von Security Gateway (SGW) zu Security Gateway



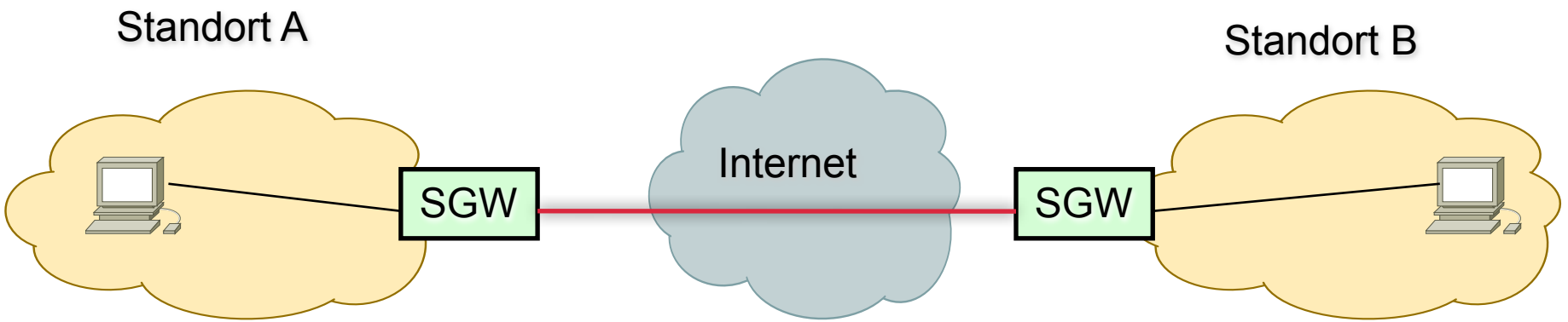
  - Telearbeitsplätze; Remote Access („Road Warrior“)
    Endsystem zu SGW



  - End-to-End



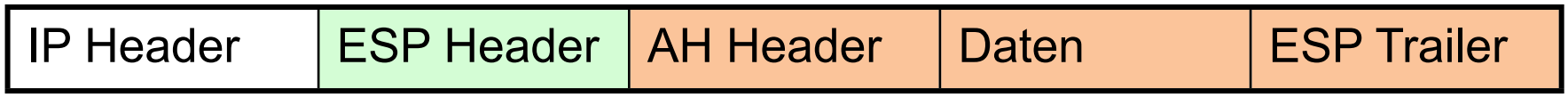
Szenario Standortvernetzung



- Mögliche Anforderungen:
  - Authentisierung SGW-to-SGW oder End-to-End
  - Integritätssicherung SGW-to-SGW oder End-to-End
  - Schutz gegen Replay-Angriffe
  - Vertraulichkeit auch im (jeweils) internen Netz
  - SGW realisiert auch Firewall-Funktionen
  - Verwendung privater IP-Adressen in den Standorten
  - Verschattung interner Netzstrukturen

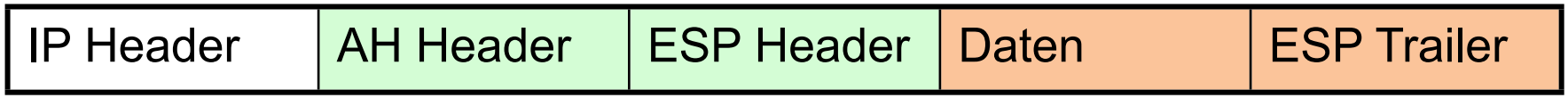
Protokollkombinationen

- AH Tunnel Mode am Security Gateway
  - Integritätssicherung
  - Authentisierung SGW to SGW
  - Private Adressen im internen Netz
- ESP Tunnel Mode am Security Gateway
  - Vertraulichkeit (auch der privaten Adressen)
- AH Transport am Endsystem / ESP Transport am SGW
  - Integritätssicherung
  - Authentisierung End to End
  - Vertraulichkeit ab SGW
  - Private Adressen nicht möglich
  - Nur theoretische Kombination; praktisch schwer realisierbar (Empfänger SGW nicht adressierbar)

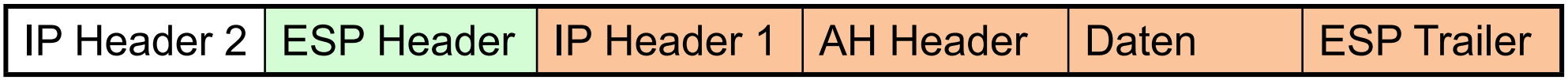


Protokollkombinationen (2)

- ESP Transport am Endsystem, AH Transport am SGW
  - Vertraulichkeit End to End
  - Authentisierung SGW to SGW
  - Private Adressen nicht möglich
  - SGW kann nicht mehr filtern (wegen Verschlüsselung)
  - Theoretisches Beispiel, in der Praxis schwer realisierbar, SGW nicht adressiert (transparentes SGW)



- AH Transport am Endsystem / ESP Tunnel am SGW
  - Integritätssicherung
  - Authentisierung End to End
  - Vertraulichkeit ab SGW
  - Private Adressen möglich



IPSec Security Association (SA)

- Inhalt einer SA
  - IPSec Protokoll Modus (Tunnel oder Transport)
  - Parameter (Algorithmen, Schlüssel, Zertifikat, Initialisierungsvektor,...)
  - Lebensdauer der SA
  - Sequenznummernzähler mit –overflow
  - Anti-Replay-Window
  - .....
- Identifikation einer SA per Kombination aus:
  - Security Parameter Index (SPI); 32-Bit Zahl
  - Ziel-Adresse
  - Verwendetes Protokoll (AH, ESP)
- D.h. in jede Kommunikationsrichtung wird eine eigene SA vereinbart
- Jeder IPSec-Teilnehmer hat eine lokale Security Policy Database (SPD) mit SAs

Inhalt

- Schwächen des Internet-Protokolls (IP)
- IPSec: Sicherheitserweiterung des IP-Protokolls
  - Authentication Header (AH)
  - Encapsulation Security Payload (ESP)
  - Anwendungsbeispiele
- Schlüsselverteilung mit IKEv2 (Internet Key Exchange)
  - Aufbau einer IKE SA
  - Authentisierung der Partner
  - Aufbau der IPSec SA
  - Erzeugung von Schlüsselmaterial

Grundlage: Diffie-Hellman Schlüsselaustausch

- Ermöglicht den sicheren Austausch eines Schlüssels über einen unsicheren Kanal:
- Primzahl p und eine primitive Wurzel g (mod p) dürfen öffentlich bekannt gemacht werden
  (oft als Diffie-Hellman Group bezeichnet)

- Alice wählt ein x aus [1..p-2]
- Bob wählt ein y aus [1..p-2]
- Alice schickt $A = g^x \bmod p$ an Bob
- Bob schickt $B = g^y \bmod p$ an Alice

- Beide verwenden den folgenden Schlüssel:

$$Key = A^y = (g^x)^y = g^{xy} = (g^y)^x = B^x \pmod{p}$$

Einschub: Diffie-Hellman Beispiel

- Achtung: Üblicherweise Zahlen mit mehreren hundert Stellen!

- Alice und Bob einigen sich auf p=13 und g=2
- Alice wählt zufällig x=5, Bob wählt zufällig y=7
- Alice berechnet $A = 2^5 \bmod 13 = 6$, schickt dies an Bob
- Bob berechnet $B = 2^7 \bmod 13 = 11$, schickt dies an Alice
- Alice berechnet $11^5 \bmod 13 = 7$
- Bob berechnet $6^7 \bmod 13 = 7$
- Beide erhalten also das Ergebnis 7

- Angreifer kann die Zahlen 13, 2, 6 und 11 mithören, den Wert 7 aber nicht berechnen, da g^{xy} aufwendig zu berechnen ist, selbst wenn g, g^x und g^y bekannt sind.
  (Eng verwandt mit dem Diskreten-Logarithmus-Problem)

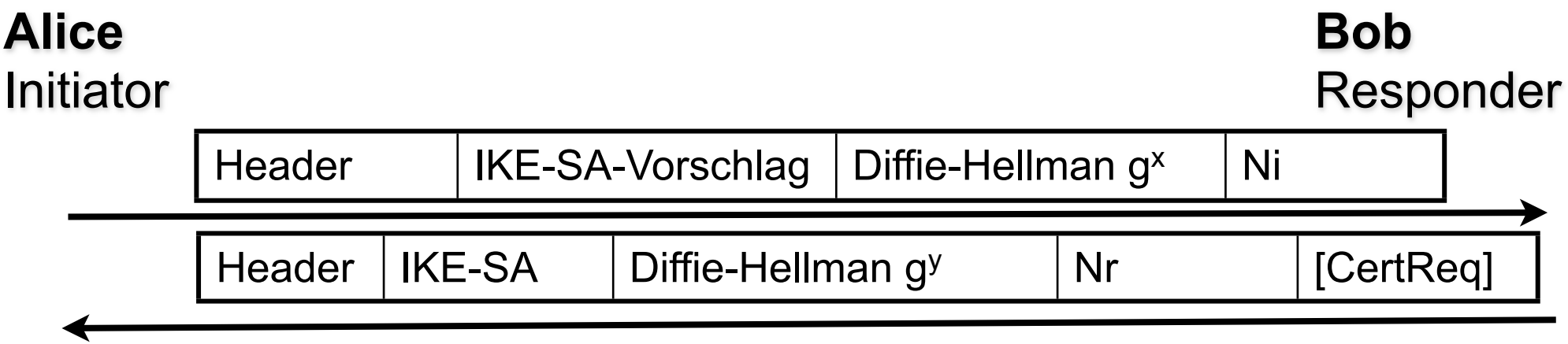
IPSec Schlüsselaustausch über IKEv2

- Protokollprimitive
  1. IKE_INIT
     - Aufbau einer bidirektionalen IKE SA
  2. IKE_AUTH
     - Authentisierung der Partner
     - Aufbau der ersten (und oft einzigen) bidirektionalen IPSec SA
  3. IKE_CHILD_SA
     - Aushandeln weiterer IPSec SAs
     - Re-Keying einer bestehenden SA

  ❑ Ein durch IKE_AUTH etablierter Kanal kann für mehrere IKE_CHILD_SA Exchanges verwendet werden

- Ziele:
  ❑ Erzeugung des für IPSec benötigten Schlüsselmaterials
  ❑ Authentisierung der Gegenseite schon in IKE (nicht erst in IPSec)

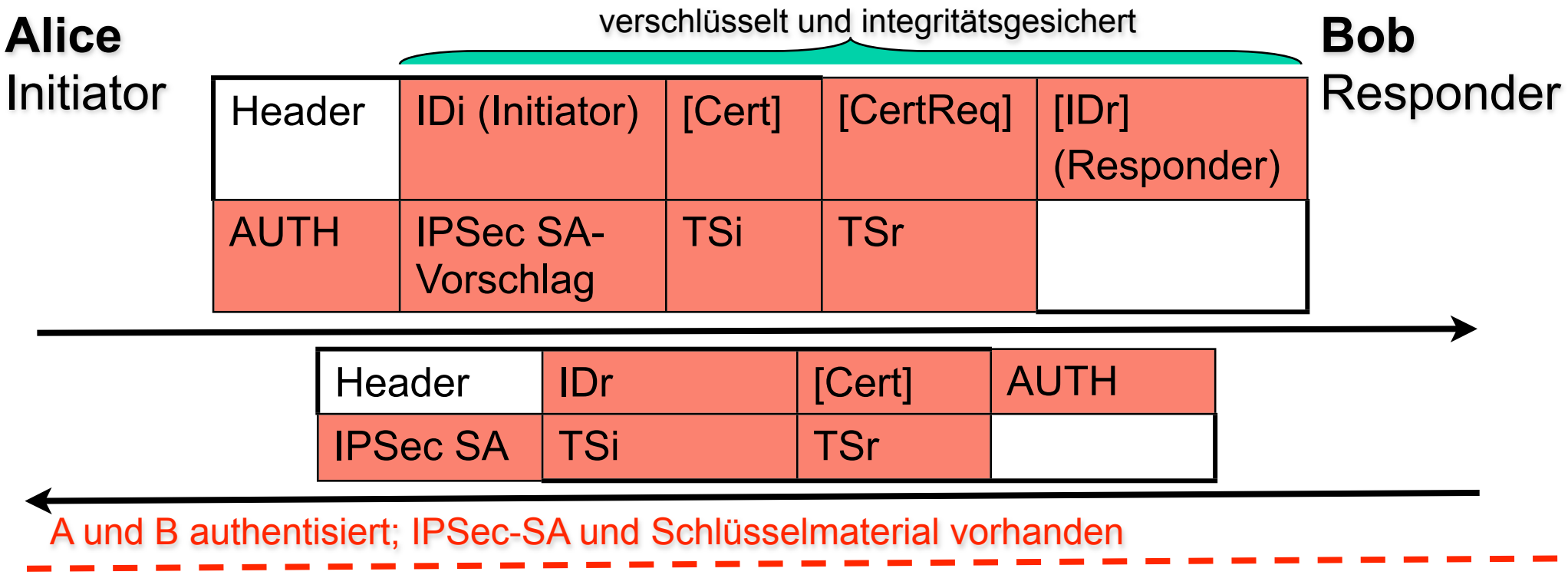
IKEv2: IKE_INIT



IKE-SA ausgehandelt, Schlüssel erzeugt, vertraulicher Kanal möglich; KEINE Authentisierung

- IKE-SA-Vorschlag:
  enthält die vom Initiator unterstützen Algorithmen
- Ni, Nr Zufallszahlen
- Diffie-Hellman Verfahren zur Berechnung von SKEYSEED
- Ableitung aus SKEYSEED (für jede Richtung separat)
  - SK_a: Authentisierungsschlüssel
  - SK_e: Schlüssel für Kryptoverfahren
- CertReq: Anforderung von Zertifikat(en); Optional

IKEv2: IKE_AUTH

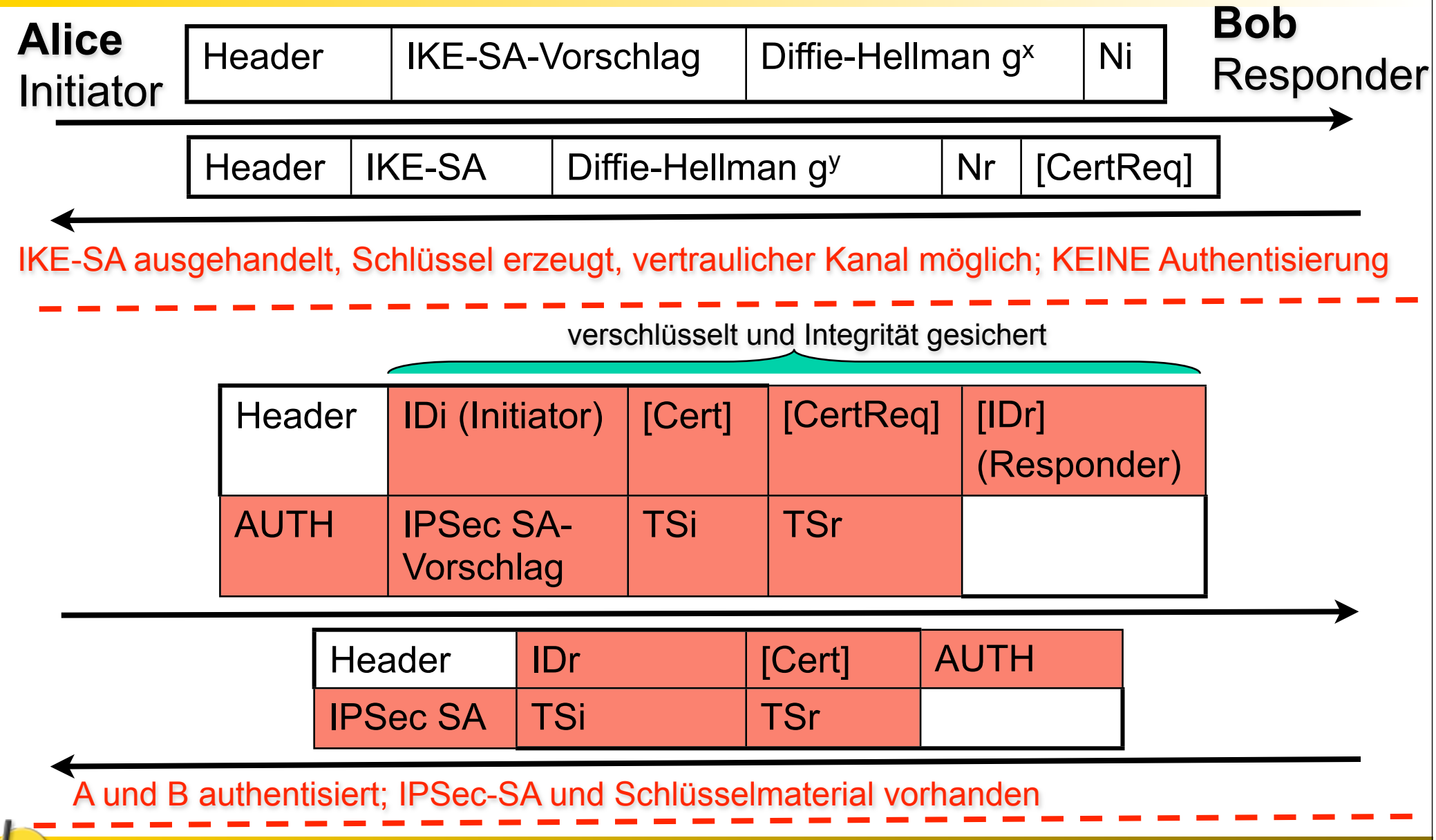


- Initiator und Responder können mehrere IDs haben; IDi und IDr bestimmen die jeweils gewählte ID
- Authentisierung über Public Key in AUTH
- Zertifikat und entsprechende Kette in Cert (Optional)
- TSx enthält Informationen aus lokaler Security Policy Database

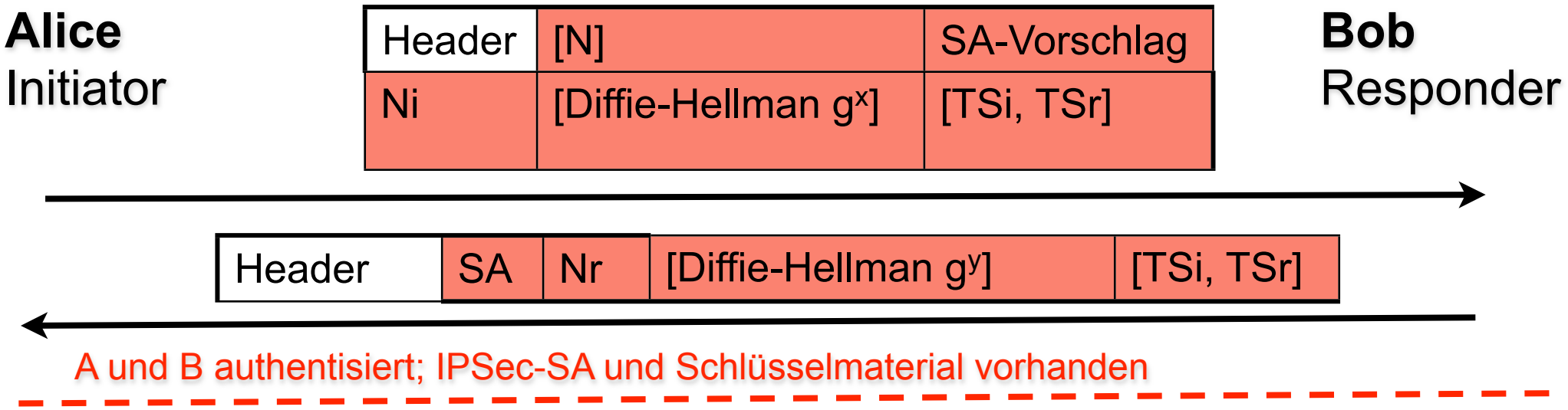
IKEv2: TSx

- Falls IP-Paket verarbeitet wird, für das „protect“ in der SPD gesetzt ist:
  - Paket muss verschlüsselt werden
  - Mögliches Problem: Es existiert keine SA
  - SPD-Verwaltung ist keine Aufgabe von IKE
  - Aber IKE dient zur Aushandlung von SAs
  - Informationen aus lokaler SPD können über TSx weitergegeben werden
  - Damit Wahrung der Konsistenz
- Bsp.: Bob ist Gateway für privates Subnetz
  - Alice will Verkehr ins Subnetz 10.11.12.* tunneln
  - TSi enthält Adress-Range: 10.11.12.0 - 10.11.12.255
  - Bob kann Adress-Range in TSr einschränken

IKEv2 : Zusammenfassung



IKEv2: CREATE_CHILD_SA



- Optional, da SA bereits mit IKE_AUTH ausgehandelt wird
- N enthält existierende SA, für die neues Schlüsselmaterial berechnet werden soll
- Optionaler Diffie-Hellman Key Exchange für Forward Security
- Nx sind von Initiator / Responder gewählte Zufallszahlen

IKEv2: Schlüsselgenerierung

- IKE-SA legt fest:
  - Verschlüsselungsalgorithmus
  - Integritätssicherungsalgorithmus
  - Diffie-Hellman Group (p und g)
  - Zufallszahlenfunktion (Pseudo-random function, prf)

- prf wird zur Schlüsselerzeugung verwendet;
- Abhängig von der benötigten Schlüssellänge wird prf iteriert
  - prf+ = T1 | T2 | T3 | T4 | ... mit

  - T1 = prf(K, S | 0x01)
  - T2 = prf(K, S | 0x02)
  - .....
  - Tn = prf(K, S | 0x n)

K = Key
S = Seed

IKEv2: IKE-Schlüsselmaterial

- IKE-SA Schlüsselmaterial:
  - SK_d verwendet zur Ableitung neuer Schlüssel für CHILD_SA
  - SK_{ai} Schlüssel für Integritätssicherung des Initiators
  - SK_{ar} Schlüssel für Integritätssicherung des Responders
  - SK_{ei} und SK_{er} Schlüssel für Verschlüsselung
  - SK_{pi} und SK_{pr} Erzeugung der AUTH Payload
- SKEYSEED = prf (Ni | Nr , g^{xy})
- IKE-SA Schlüsselmaterial:
  $\{SK_d \mid SK_{ai} \mid SK_{ar} \mid SK_{ei} \mid SK_{er} \mid SK_{pi} \mid SK_{pr}\}$ =
  prf+ (SKEYSEED, Ni | Nr | SPI_i | SPI_r)
- CHILD_SA Schlüsselmaterial:
  - KEYMAT = prf+ (SK_d , Ni | Nr) bzw.
  - KEYMAT = prf+ (SK_d, g^{xy} | Ni | Nr)

IKEv2: Authentisierung

- mehrere Alternativen:
- Durch digitale Signatur eines vordefinierten Datenblocks
  - Verifikation durch Empfänger
  - Zertifikat (und evtl. entsprechende Kette) erforderlich
  - Optionale Anforderung und Übertragung: CertReq und Cert
  - Zertifikat kann auch schon bekannt sein
- Durch HMAC des Datenblocks
- Durch Verwendung des Extensible Authentication Protocol (EAP, vgl. Kap. 9)

IKEv2 Algorithmen

- Verschlüsselung:
  - DES, 3DES
  - RC5
  - IDEA, 3IDEA
  - CAST
  - Blowfish
  - AES
- Integritätssicherung:
  - HMAC_MD5_96
  - HMAC_SHA1_96
  - DES
  - AES
- Pseudo-Random Function (prf)
  - HMAC_MD5
  - HMAC_SHA1
  - HMAC_Tiger
  - HMAC_AES128